

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-181024

(43)Date of publication of application : 18.07.1995

(51)Int.Cl. G01B 11/24
 G01B 11/00
 G01C 3/06
 G06T 7/00
 G06T 7/60

(21)Application number : 05-326941

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 24.12.1993

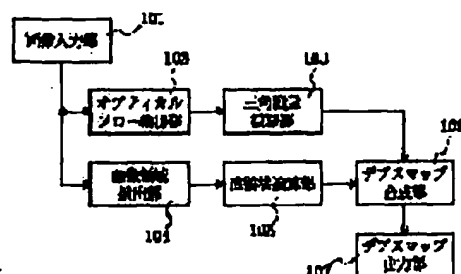
(72)Inventor : KONDO TOSHIAKI
 IJIMA KATSUMI

(54) METHOD AND APPARATUS FOR MEASURING THREE-DIMENSIONAL PROFILE

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide method and apparatus for measuring a three-dimensional profile highly accurately even in a region where the distance varies abruptly and even when only a single lens image sensor is employed.

CONSTITUTION: The three-dimensional profile measuring apparatus comprises a section 102 detecting the optical flow for a plurality of images being fed to an image input section 101, a section 104 for extracting the edge region from the image, and a section 103 for operating the distance information based on the principle of triangulation through the use of the optical flow. The measuring apparatus further comprises a section 105 for operating the distance information directly from the self-motion information received from the image input section 101 according to the relation between the time difference and the spatial gradient of image. The distance information around the edge region is operated at the direct operating section 105. The distance information is integrated at a depth map synthesizing section 106 and delivered from a depth map output section 107.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-181024

(43)公開日 平成7年(1995)7月18日

(51)IntCl. ⁴	識別記号	庁内整理番号	P I	技術表示箇所
G 0 1 B 11/24	K			
11/00	H			
G 0 1 C 3/06	Z			
		9061-5L	G 0 6 F 15/ 62 15/ 70	4 1 5 3 5 0 M
審査請求 未請求 請求項の数20 O L (全 12 頁) 最終頁に続く				

(21)出願番号 特願平5-326941

(22)出願日 平成5年(1993)12月24日

(71)出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 近藤 俊明

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(72)発明者 飯島 克己

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

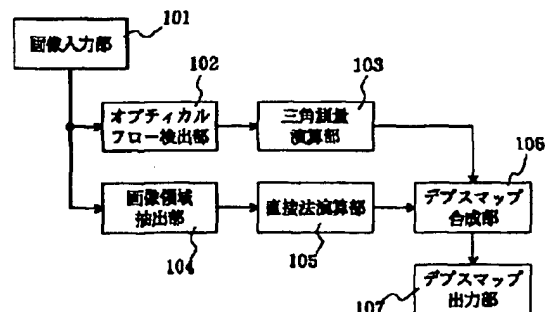
(74)代理人 弁理士 若林 忠

(54)【発明の名称】 3次元形状計測方法および装置

(57)【要約】

【目的】単眼の画像センサのみを用いた場合であっても、距離が急激に変化する領域でも高精度で測距できる3次元形状計測方法および装置を提供する。

【構成】画像入力部101に入力する複数枚の画像に対してオブティカルフローを検出するオブティカルフロー検出部102と、画像中のエッジ領域を抽出する画像領域抽出部104と、オブティカルフローを利用し三角測量の原理によって距離情報を算出する三角測量演算部103とを設ける。また、画像の時間差分および空間勾配の関係式と画像入力部101の自己運動情報とから、距離情報を直接算出する直接法演算部105を設ける。直接法演算部105では、エッジ領域を中心とした距離情報を算出する。そしてこれら距離情報をデプスマップ合成部106で統合し、デプスマップ出力部107から出力する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 被計測体の3次元形状を計測する3次元形状計測方法において、

撮像手段を用い視点を変えて前記被計測体に関する複数枚の画像を入力し、

そのうち、前記複数枚の画像から前記画像間の動きを表わすオブティカルフローを求め該オブティカルフローに基づいて距離情報を算出する第1の測距工程と、前記画像の時間差分および空間勾配の関係式と前記撮像手段の自己運動情報とから距離情報を直接算出する第2の測距工程とを実施し、

前記第1の測距工程で得られる距離情報と前記第2の測距工程で得られる距離情報とを統合して最終的な距離情報を得ることを特徴とする3次元形状計測方法。

【請求項2】 前記第1の測距工程によって前記被計測体の概形を求め、前記第2の測距工程によって前記被計測体のエッジ近傍に対する距離情報を求める請求項1に記載の3次元形状計測方法。

【請求項3】 オブティカルフローの分布が変化する領域を前記画像中から抽出する工程をさらに有し、前記第2の測距工程によって前記領域に対する距離情報を優先的に算出して前記第1の測距工程による距離情報と統合する請求項1に記載の3次元形状計測方法。

【請求項4】 前記第1の測距工程による距離情報と前記第2の測距工程による距離情報とを統合する際に、前記画像の特徴に応じて、前記各距離情報の参照割合を変化させる請求項1に記載の3次元形状計測方法。

【請求項5】 前記画像の特徴として前記画像の輝度分布の微分値を使用する請求項4に記載の3次元形状計測方法。

【請求項6】 前記第1の測距工程が、三角測量の原理に基づき前記オブティカルフローから距離情報を算出する工程である請求項1ないし5いずれか1項に記載の3次元形状計測方法。

【請求項7】 被計測体の3次元形状を計測する3次元形状計測装置において、視点を変えて前記被計測体の複数枚の画像を入力する画像入力手段と、前記複数枚の画像から前記画像間の動きを表わすオブティカルフローを求め該オブティカルフローに基づいて距離情報を算出する第1の測距手段と、前記画像の時間差分および空間勾配の関係式と前記画像入力手段の自己運動情報とから距離情報を直接算出する第2の測距手段と、前記第1の測距手段から出力される距離情報と前記第2の測距手段から出力される距離情報とを統合して最終的な距離情報を出力する合成手段とを有することを特徴とする3次元形状計測装置。

【請求項8】 前記第1の測距手段が、前記オブティカルフローを検出するオブティカルフロー検出手段と、検出されたオブティカルフローを用い三角測量の原理に基づいて距離情報を算出する三角測量演算手段とからなる

請求項7に記載の3次元形状計測装置。

【請求項9】 前記画像の中からエッジ領域を抽出する画像領域抽出手段をさらに有し、前記エッジ領域に関して前記第2の測距手段によって距離情報が算出される請求項7または8に記載の3次元形状計測装置。

【請求項10】 前記オブティカルフロー検出手段の出力を受けてオブティカルフローの分布が変化する領域を前記画像中から抽出する画像領域抽出手段をさらに有し、前記抽出された領域に関して前記第2の測距手段によって距離情報が算出される請求項8に記載の3次元形状計測装置。

【請求項11】 前記画像の特徴を検出する特徴検出手段をさらに有し、前記合成手段が、前記画像の特徴に応じて、前記第1の測距手段による距離情報と前記第2の測距手段による距離情報との参照割合を変化させて距離情報の統合を行なう請求項7または8に記載の3次元形状測定装置。

【請求項12】 前記特徴検出手段が画像の輝度分布の微分値を算出するものである請求項11に記載の3次元形状測定装置。

【請求項13】 被計測体の3次元形状を計測する3次元形状計測装置において、視点を変えて前記被計測体の複数枚の画像を入力する画像入力手段と、前記画像入力手段の移動量を検出する移動量検出手段と、前記複数枚の画像と前記移動量とを用いて前記被計測体までの距離を算出する画像処理手段とを有することを特徴とする3次元形状測定装置。

【請求項14】 前記移動量検出手段が、慣性力を利用する機械的センサであって、前記画像入力手段に対して固定されている請求項13に記載の3次元形状測定装置。

【請求項15】 前記移動量検出手段が、磁気センサである請求項13に記載の3次元形状測定装置。

【請求項16】 前記移動量検出手段が、前記画像入力手段を保持して移動させる計測者の動きを検出することによって、前記画像入力手段の動きを検出するものである請求項13に記載の3次元形状測定装置。

【請求項17】 前記移動量検出手段が超音波センサである請求項16に記載の3次元形状測定装置。

【請求項18】 前記移動量検出手段が光ファイバセンサである請求項16に記載の3次元形状測定装置。

【請求項19】 前記移動量検出手段が圧力センサである請求項16に記載の3次元形状測定装置。

【請求項20】 前記移動量検出手段が、前記計測者の筋電位を検出する筋電位検出手段である請求項16に記載の3次元形状測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、2次元画像から3次元の情報を求める方法に関し、特に、2次元画像から3次

元での位置情報、形状情報を得るための3次元形状計測方法および装置に関する。

【0002】

【従来の技術】自立走行車や自走ロボットなどの移動体では、周囲環境、特に障害物がどこにあるかを認識するために、周囲の3次元情報を獲得する環境認識装置や障害物認識装置が使用される。地形形状の測定やリモートセンシングを行なう場合には、2次元の画像データから3次元での情報を求める必要がある。さらに、CG（コンピュータグラフィックス）やCAD（コンピュータ支援設計）のためのソリッドモデル作製においても、物体や環境の基礎形状の入力のために、2次元画像から3次元の情報を求めることが必要となる。

【0003】ところで、3次元の形状情報を得るためには、対象とする物体（被計測体）上の各点（物点）について、その点までの距離とその点への方位角とが得られればよい。2次元画像を処理して3次元情報を得る場合には、画像上の位置から方位角はすぐに定まるので、結局、距離をいかに求めるかがポイントとなる。

【0004】対象とする被計測体までの距離（形状）を測定する方法は、被計測体に対して何らかのエネルギー体（電磁波、音波など）を放射する能動的な手法と、被計測体を撮像して得た画像信号を解析する受動的な手法とに大別される。能動的な手法としては、電波、超音波、光などの波動を被計測体に放射してそれが反射して戻ってくるまでの伝播時間を測定し、距離を算出する手法がある。さらに、能動的な手法に属し3次元形状を直接求める方法として、適当な光源から規則的な模様を投影して被計測体表面に人工的な模様を生じさせ、その幾何学的な歪みから被計測体の形状を求める手法（例えば、モアレトポグラフィ）があり、広く利用されている。

【0005】一方、受動的な手法としては、複数の画像センサを用いて得られる画像間の対応点の位置関係から三角測量の原理に基づいて距離を測定する手法や、被計測体表面が持つ模様の幾何学的な歪みから被計測体の立体形状を推定する手法などがある。また、光学系を用いて被計測体を撮影したときの焦点はずれ量から被計測体までの距離を求める手法も試みられている。

【0006】ここで、三角測量の原理に基づく測距方法について、図10を用いて説明する。ここでは、 $\triangle ABC$ で表わされる物体（被計測体）900を異なる2つの位置（視点） T_1, T_2 から撮影する場合について説明する。

【0007】2視点 T_1, T_2 はそれぞれ撮像レンズ901₁, 901₂の光学中心と一致しており、2視点 T_1, T_2 間の間隔を基線長 L という。また f は各撮像レンズ901₁, 901₂の焦点距離である。物体900の各頂点 A, B, C は、それぞれ、視点 T_1 側の画像902₁では撮像レンズ901₁によって点 A', B', C' に投影され、視点

T_2 側の画像902₂では撮像レンズ901₂によって点 A'', B'', C'' に投影されている。これら2枚の画像902₁, 902₂をそれらの投影中心 O', O'' が一致するように重ねたとき、点 A' と A'' といったような対応点は一般には一致せず、

【0008】

【外1】

$\overline{A'A''}$

であらわされるような移動量をもって配置される。ここで、撮像レンズ901₁, 901₂から物体までの距離 Z が焦点距離 f に対して十分に大きいとすれば、物体が結像する面（結像面）は撮像レンズ901₁, 901₂の焦点面に一致するので、図10に示された幾何学関係より、

【0009】

【数1】

$$\left. \begin{aligned} \overline{A'A''} : f &= L : Z_A \\ \overline{B'B''} : f &= L : Z_B \\ \overline{C'C''} : f &= L : Z_C \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

が成立し、これより

【0010】

【数2】

$$\left. \begin{aligned} Z_A &= \frac{L \cdot f}{\overline{A'A''}} \\ Z_B &= \frac{L \cdot f}{\overline{B'B''}} \\ Z_C &= \frac{L \cdot f}{\overline{C'C''}} \end{aligned} \right\} \dots (2)$$

となる。ここで、 Z_A, Z_B, Z_C は各点 A, B, C までの距離であり、これによって、各点 A, B, C までの距離が演算されたことになる。

【0011】以上の原理に基づいて距離測定を行なう場合、両方の画像902₁, 902₂の中から対応点を抽出しなければならない。画像処理によって対応点を抽出する方法としては、相関演算に基づく相互演算法やマッチング法、あるいは画像の時間差分と空間勾配の演算式を連立させる時空間勾配法や、時空間勾配法を周波数空間で実現するフーリエ変換法などがあり、これらの方法は、いずれも、複数の画素からなるブロックを単位として行なわれる。

【0012】ところで、対応点探索の結果、一方の画像の点 A' が他方の画像の点 A'' に対応することが分かった場合、点 A' から点 A'' に向かうベクトルを考えることができる。このベクトルは、画像中の各点について考えることができ、一方の画像中の各所がどのように移動した結果、他方の画像になったかを示すものである。そこで、このベクトルの分布を考えることとし、この分布をオプティカルフローと呼ぶことにする。また、画像中の各点について、その点に対応する3次元空間内の点まで

の撮像レンズ側からの距離（デプス）が定まるので、画像データと同様にこの距離データを2次元マトリクス内に配列・格納することができる。このように距離データを2次元マトリクス内に配列させたものをデプスマップと呼ぶことにする。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】従来の能動的な手法による測距方法では、超音波やレーザ光などのエネルギー体を放出してその反射体を検出する必要があるため、エネルギー体を吸収してしまうような物体を対象とすることができず、また、生体への悪影響を考慮すると大強度のレーザ光を人体に照射することができないなど、汎用性にも乏しいという問題点がある。また、規則的な模様を投影して形状を求める方法は、原理的に被計測体の相対的な立体情報を把握するための手法であるので、被計測体の絶対的な大きさや被計測体までの絶対的な距離を求めることができないという問題点がある。

【0014】一方、受動的な手法のうち被計測体表面の模様の幾何学的なひずみから立体情報を抽出する方法は、事前にその幾何学模様の性質が既知であることが必要であり、かつ相対的な距離情報しか求められないので、その応用範囲が極めて狭い。また、画像の焦点はずれによる測距方法では、正確な距離測定をするためには焦点深度が浅い大口径の明るいレンズが必要で、通常のTVカメラレンズでは十分な精度が得られないという問題がある。

【0015】さらに、三角測量の原理に基づく測距方法では、2つの画像間での対応点抽出を行なう必要があるが、従来の方法では、複数の画素からなるブロックを単位として対応点の探索を行なうので、解像度に限界があり、距離が急激に変化するような領域に対するシャープな測距を行なうことができないという問題点がある。このような領域の測距を行なうために、ブロックサイズを階層的にして解像度を向上させる方法のあるが、ブロックサイズが小さくなるほど対応点探索の精度が劣化し、かつ演算量が膨大になるなどの問題点が生じる。また、三角測量の原理に基づく方法は、一般には基線長しだけ離れた2つの画像センサを必要とし、複数の撮像素子、撮像系を必要とするので、小型で安価な測距装置を構成するには不向きである。

【0016】本発明の目的は、三角測量の原理に基づいて距離を算出し形状の測定を行なう場合に、距離が急激に変化する領域でも高精度で測距できる3次元形状計測方法および装置を提供し、さらに、単一の画像センサのみを用いて高精度に測距できる3次元形状計測方法および装置を提供することにある。

【0017】

【課題を解決するための手段】本発明の3次元形状計測方法は、撮像手段を用い視点を逐次変えて被計測体に関する複数枚の画像を入力し、そのうち、前記複数枚の画像か

ら前記画像間の動きを表わすオプティカルフローを求め該オプティカルフローに基づいて距離情報を算出する第1の測距工程と、前記画像の時間差分および空間勾配の関係式と前記撮像手段の自己運動情報とから距離情報を直接算出する第2の測距工程とを実施し、前記第1の測距工程で得られる距離情報と前記第2の測距工程で得られる距離情報とを統合して最終的な距離情報を得る。

【0018】本発明の第1の3次元形状計測装置は、視点を変えて被計測体についての複数枚の画像を入力する画像入力手段と、前記複数枚の画像から前記画像間の動きを表わすオプティカルフローを求め該オプティカルフローに基づいて距離情報を算出する第1の測距手段と、前記画像の時間差分および空間勾配の関係式と前記画像入力手段の自己運動情報とから距離情報を直接算出する第2の測距手段と、前記第1の測距手段から出力される距離情報と前記第2の測距手段から出力される距離情報とを統合して最終的な距離情報を出力する合成手段とを有する。

【0019】本発明の第2の3次元形状計測装置は、視点を変えて被計測体の複数枚の画像を入力する画像入力手段と、前記画像入力手段の移動量を検出する移動量検出手段と、前記複数枚の画像と前記移動量とを用いて前記被計測体までの距離を算出する画像処理手段とを有する。

【0020】

【作用】本発明の3次元形状計測方法では、オプティカルフローに基づいて距離情報を算出する第1の測距工程と、画像の時間差分および空間勾配の関係式と撮像手段の自己運動情報とから距離情報を直接算出する第2の測距工程とを組み合わせることで、これら第1および第2の測距工程で得られる距離情報を統合するので、物体（被計測体）の境界領域、典型的にはエッジ領域においても高精度で測距でき、高精度に3次元形状を計測することができる。第1の測距工程は、典型的には、三角測量の原理に基づいて行なわれる。一方、第2の測距工程は、時空間勾配法の拘束式と撮像体（撮像手段）の自己運動情報とを連立させ、被計測体までの距離を直接算出する工程であり、以下、この原理に基づく測距方法を直接法と呼ぶことにする。第1および第2の測距工程から得られた距離情報を統合する場合、例えば、画像の特徴に応じて統合時の各距離情報の参照割合を変えたり、オプティカルフローが変化する領域では第2の測距工程からの距離情報を優先させたりすることができる。

【0021】本発明の第1の3次元形状計測装置は、複数枚の画像から画像間の動きを表わすオプティカルフローを求めオプティカルフローに基づいて距離情報を算出する第1の測距手段と、直接法によってすなわち画像の時間差分および空間勾配の関係式と画像入力手段の自己運動情報とから距離情報を直接算出する第2の測距手段と、第1および第2の測距手段から出力される距離情報

を統合する合成手段とを有するので、物体（被計測体）の境界領域、典型的にはエッジ領域においても高精度で測距でき、高精度に3次元形状を計測することができる。第1および第2の測距手段から得られた距離情報を統合する場合、例えば、画像の特徴に応じて統合時の各距離情報の参照割合を変えたり、オブティカルフローが変化する領域では第2の測距手段からの距離情報を優先させたりすることができる。

【0022】本発明の第2の3次元形状計測装置は、画像入力手段の移動量を検出する移動量検出手段を有するので、小型化・軽量化が容易に達成でき、高精度での測距が可能となる。移動量検出手段としては、慣性力を利用した機械的なセンサであって画像入力手段に直接取り付けられものや、磁気センサ、さらには計測者の体の動きを検出することにより計測者に保持されている状態での画像入力手段の動きを検出するものを使用できる。計測者の体の動きを検出するものとしては、超音波センサ、光ファイバセンサ、圧力センサなどが挙げられ、さらには計測者の筋電位を検出するようにしてもよい。

【0023】

【実施例】次に、本発明の実施例について図面を参照して説明する。

【0024】《第1実施例》図1は本発明の第1実施例の3次元形状計測装置の構成を示すブロック図である。この3次元形状計測装置は、本発明の3次元形状計測方法に基づいて、測定対象物である被写体（被計測体）の形状を計測するものであって、計測結果はデプスマップとして出力されるようになっている。

【0025】画像入力部101は、被計測体を画像データとして取り込むものであり、被計測体を撮像してA/D変換処理を行い、複数枚のデジタル画像データとして画像メモリ（不図示）に蓄えて出力するように構成されている。複数枚の画像データを撮像する画像入力部101は、移動機能のある単眼の撮像装置でもよいし、複数の撮像装置（いわゆる複眼撮像装置も含む）からなってもよい。いずれにせよ、各画像データそれぞれに対する撮像位置を考えたときに、これら撮像位置間の相対的な位置関係が明らかになっている必要がある。複数の画像装置からなる場合には、それらの相対的な位置関係が撮像位置の位置関係となる。また、移動機能を有する単眼の撮像装置の場合には、時系列に撮像を行なうことになるので、各回の撮影を行なう間の移動量を測定するようにする。移動量の測定方法としては各種のものが考えられるが、撮像装置が床上を移動するような場合には、車輪の回転量をモニタするなどすればよい。また、後述の第4実施例、第5実施例に開示されたような方法も適用できる。

【0026】画像入力部101の出力側には、複数の画像間で各所の対応関係を求めるオブティカルフロー検出部102および入力された画像から特定の領域を抽出

する画像領域抽出部104が設けられており、オブティカルフロー検出部102の出力側には三角測量の原理に従い被計測体までの距離を演算する三角測量演算部103が設けられ、画像領域抽出部104の出力側には直接法によって距離の算出を行なう直接法演算部105が設けられている。さらに、三角測量演算部103による演算結果と直接法演算部105の演算結果とを合成するデプスマップ合成部106と、合成されたデプスマップを出力するデプスマップ出力部107が設けられている。

【0027】オブティカルフロー検出部102は、画像入力部101で取り込まれた複数の画像間（移動機能のある単眼の撮像装置で得られる時系列な画像間、あるいは複数の撮像装置から得られる異なる視点で取り込まれた複数の画像間）で対応点を求める。対応点を探索する手法として、相関演算に基づく相互相関法やブロックマッチング法（＝テンプレートマッチング法）や、米国特許第3,890,462号明細書あるいは特公昭60-46878号公報に記載の時空間勾配法がある。マッチング法に関しては、尾上守夫らにより、情報処理、Vol. 17, No. 7, pp.634~640 (1976.7)で詳しく論じられており、時空間勾配法については、Berthold K. P. HornとBrian G. Schunckにより、Artificial Intelligence, 17, p.185~203 (1981)で詳しく論じられている。この他、時空間勾配法を周波数空間で実現するフーリエ変換法も良く知られている。これらの手法ではいずれも、複数の画素からなるブロック単位で対応点の探索が行なわれる。本実施例では、オブティカルフローの検出方法は、上述したいずれの手法であってもよい。

【0028】検出されたオブティカルフローは三角測量演算部103に送られ、三角測量演算部103において、公知の三角測量の原理に基づき、対応点の求まった画素に相当する物点（画像データ点に対応する3次元空間内の点）までの距離が計測される。三角測量の原理に基づいて距離を算出する場合、視点間の距離すなわち基線長が必要となるが、基線長は、上述した撮像位置間の相対的な位置関係に基づいて定めればよい。本実施例では、三角測量による測距は、画像全域で等間隔に行なわれるようにする。

【0029】一方、画像領域抽出部104は、画像データから特定の領域を抽出するものであるが、本実施例では、撮像された画像からエッジを検出するように構成されている。検出されたエッジの近傍の画像データは、後段の直接法演算部30へ送られる。ここで、図2を用いてエッジ検出の1手法を説明する。

【0030】図2(a)は画像の輝度分布の一例を示している。このような輝度分布を示す画像データを位置に関して1階微分を施すと、図2(b)に示すようなデータが得られる。この1階微分データに対してさらに微分処理を施し、画像輝度分布の2階微分値とした結果が図2(c)に示されている。この2階微分値がゼロになる点を

ゼロクロッシング点と呼び、エッジの位置を示すことが広く知られている。

【0031】直接法演算部104では、撮像体（撮像装置）である画像入力部101の自己運動情報、具体的には自己運動パラメータと、時空間勾配法の拘束式を用いて、画素ごとに被計測体までの距離を直接計測する。ここで撮像体の自己運動情報とは、上述した撮像位置の相対的な位置関係のことである。以下に、直接法による距離算出の原理を詳しく説明する。

【0032】図3は、撮像体と撮像面の座標系との関係を示している。原点Oは撮像体の光学中心の位置、すなわち撮像レンズの主点の位置であり、軸OZは光軸方向になっている。xy平面は撮像面190を表している。撮像面190上の点P₀は、撮像面190の原点である。撮像体の自己運動パラメータは並進運動と回転運動からなり、それぞれX, Y, Zの3軸に沿った並進運動(T_x, T_y, T_z)と回転運動(W_x, W_y, W_z)と表記する。撮像体がある運動(T_x, T_y, T_z, W_x, W_y, W_z)をした時、3次元空間のある静止物点P(X, Y, Z)は、原点Oからは、

【0033】

【数3】

$$\left. \begin{aligned} \dot{X} &= -T_x - W_y \cdot Z + W_z \cdot Y \\ \dot{Y} &= -T_y - W_x \cdot X + W_z \cdot Z \\ \dot{Z} &= -T_z - W_x \cdot Y + W_y \cdot X \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

*

$$\left. \begin{aligned} u &= \frac{-f \cdot T_x + x \cdot T_z}{Z} + \left(-f \cdot W_y + y \cdot W_z + \frac{x \cdot y \cdot W_x}{f} - \frac{x^2 \cdot W_y}{f} \right) \\ v &= \frac{-f \cdot T_y + y \cdot T_z}{Z} + \left(-x \cdot W_x + f \cdot W_z + \frac{y^2 \cdot W_x}{f} - \frac{x \cdot y \cdot W_y}{f} \right) \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

さらに、ここで時空間勾配法の拘束式

【0037】

【数7】

$$E_x \cdot u + E_y \cdot v + E_z = 0 \quad \dots (7)$$

を導入する。ただし、Eは画像の輝度値であり、E_x, E_y, E_zはそれぞれ、

【0038】

※

$$\begin{aligned} E_x \cdot \left(\frac{-f \cdot T_x + x \cdot T_z}{Z} - f \cdot W_y + y \cdot W_z + \frac{x \cdot y \cdot W_x}{f} - \frac{x^2 \cdot W_y}{f} \right) \\ + E_y \cdot \left(\frac{-f \cdot T_y + y \cdot T_z}{Z} - x \cdot W_x + f \cdot W_z + \frac{y^2 \cdot W_x}{f} - \frac{x \cdot y \cdot W_y}{f} \right) + E_z = 0 \end{aligned} \quad \dots (8)$$

を得る。

【0040】式(8)は画像の各点で成立し、撮像体の自己運動パラメータが既知であれば、式(8)を用いて、各画素ごとにオブティカルフローを求める中間的なステップなしに、被計測体までの距離Zを直接求めることができる。例えば、簡単のため単眼の撮像装置が水平方向

*と動いたように見える。ただし、ここでは回転運動(W_x, W_y, W_z)の大きさは十分小さいと仮定した。と静止した物点Pの撮像面190(xy平面)上での位置p(x, y)は、レンズの結像公式より、

【0034】

【数4】

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{X \cdot f}{Z} \\ y &= \frac{Y \cdot f}{Z} \end{aligned} \right\} \dots (4)$$

と表される。ただし、Z ≫ f (fは撮像レンズの焦点距離)とする。ここで、撮像面190上でのある点の移動ベクトルを(u, v)とすると、

【0035】

【数5】

$$\left. \begin{aligned} u &= \dot{x} \\ v &= \dot{y} \end{aligned} \right\} \dots (5)$$

と書ける。そこで、式(3)~(5)を用いて、以下のように移動ベクトルと撮像体の自己運動パラメータの関係式を導くことができる。

【0036】

【数6】

※【外2】

$$E_x = \frac{\partial E}{\partial x}, E_y = \frac{\partial E}{\partial y}, E_z = \frac{\partial E}{\partial t}$$

である。式(6)を式(7)に代入して、

【0039】

【数8】

(X方向)に移動して2枚の画像を入力、あるいは水平方法に配置された複眼の撮像装置を用いて2枚の画像を入力したとする。この時の撮像体の運動パラメータはT_xだけであるから、式(8)より

【0041】

【数9】

$$\frac{-f \cdot E_x \cdot T_x}{Z} + E_t = 0 \quad \dots (9)$$

が得られる。画像のx方向の微分値と画像の時間差分値さえ計算すれば、容易に当画素に対応する物点（被計測体）までの距離Zを求めることができる。

【0042】結局、三角測量演算部103は三角測量の原理に基づいて各物点への距離情報を算出し、直接法演算部105は上述した直接法に基づいて各物点までの距離情報を算出する。このようにして求められた距離情報は、デプスマップ合成部106で合成される。本実施例では、上述したように、三角測量に基づく測距を画像全域で等間隔に行ない、また画像のエッジ領域の距離（デプス）を直接法で求めた。したがってデプスマップ合成部106は、オプティカルフローに基づいて得たデプスマップに、直接法によって求められたデプスマップを内挿するか、直接法で求めたエッジ周辺部のデプスを優先的に選択、あるいは加重平均するなどの処理を取る。このように合成されたデプスマップは、デプスマップ出力部107から出力される。

【0043】画像のエッジ近傍は、一般に距離が急激に変化する場所であると考えられる。本実施例では、オプティカルフローに基づく方法によって被計測体の概形を求めた上で、距離（デプス）が急激に変化する部分に対応するエッジ近傍では直接法でより高精度に距離（デプス）を求めてデプスを合成しているため、オプティカルフローに基づく方法（三角測量の原理に基づく方法）では精度よく決定できない領域（距離が急激に変化する領域）についても高精度で距離を求めることができ、全体としての形状計測の精度が向上する。

【0044】《第2実施例》次に、本発明の第2実施例の3次元形状測定装置について、説明する。この実施例は、画像全域にわたって、オプティカルフローに基づく測距と直接法による測距を並列的に実行し、デプスマップ合成時に、両手法により求めたデプスの加重平均ないしは選択を画像の特徴に応じて行なうようにしたものである。図4は本発明の第2実施例の3次元形状計測装置の構成を示すブロック図である。

【0045】画像入力部110の出力側には、バンドパスフィルタ部111が設けられ、バンドパスフィルタ部111の出力は、マッチング法演算部112、直接法演算部113および第1の1階微分演算部114に入力する。マッチング法演算部112の出力側には三角測量演算部116が設けられ、三角測量演算部116、直接法演算部113および第1の1階微分演算部114の各出力が入力するデプスマップ合成部117が設けられている。第1の1階微分演算部114の出力は第2の1階微分演算部115にも入力しており、第1の1階微分演算部115の出力もデプスマップ合成部117に入力している。デプスマップ合成部117は、第1および第2の1階微分演算部114、115の出力に応じ、三角測量

演算部116で求められたデプスと直接法演算部113で求められたデプスとをデプスマップとして合成するものである。合成されたデプスマップは、デプスマップ出力部118を介して外部に出力されるようになっている。

【0046】画像入力部110、直接法演算部113および三角測量演算部116は、それぞれ、第1実施例（図1）の画像入力部100、直接法演算部105および三角測量演算部103と同じ処理を行なうように構成されている。バンドパスフィルタ部111は、画像データの中から、対応点検出に無用な低周波領域、高周波領域を除去するためのものである。マッチング演算部112は、マッチング法によって対応点探索を行なうものであり、画像をブロックに分割して、2つの画像信号 $g_0(x, y)$ 、 $g_1(x, y)$ が最も類似した領域をブロック単位に探索する。具体的には、

【0047】

【数10】

$$e(\xi, \eta) = \sum_B |g_0(x - \xi, y - \eta) - g_1(x, y)| \quad \dots (10)$$

$$e(\xi, \eta) = \sum_B |g_0(x - \xi, y - \eta) - g_1(x, y)|^2 \quad \dots (11)$$

のように、画像の差分の絶対値和【式(10)】、あるいは画像の差分の絶対値和の自乗【式(11)】を評価関数として、この評価関数の値が最小となる変位量 (ξ, η) を演算する。ここで添字Bはブロックを示している。ブロックサイズは、目的に応じ、精度と分解能とのトレードオフを考慮して決定する。1階微分処理部114、115は、それぞれ入力信号に対して1階微分処理を施すものである。第1の1階微分処理部114には画像信号が入力しているのでその出力は画像信号の1階微分値となり、第2の1階微分処理部115には画像信号の1階微分値が入力しているのでその出力は画像信号の2階微分値となる。

【0048】次に、デプスマップ合成部117について、詳しく説明する。上述のようにデプスマップ合成部117は、三角測量演算部116と直接法演算部113でそれぞれ求められたデプスを合成する。合成する際にどちらのデプスを優先させるかは、1階微分演算部114、115の出力値を手掛かりとして決められる。その原理を図5を用いて説明する。

【0049】図5の太線は画像の輝度分布の一例を示しており、バンドパスフィルタ部110の働きにより、輝度は周期的に増減を繰り返している。図5中、横に長い楕円で囲った領域は、1階微分値が小さい領域であり、画像輝度分布の屈曲点を指している。一方、同図中、長方形で囲った領域は2階微分値が小さい領域であり、第1実施例で説明したゼロクロッシング点の周辺の領域を指している。画像輝度分布の屈曲点は、一般に、マッチング演算の精度が高い領域であり、ゼロクロッシング点近傍の領域は直接法の精度が高い領域である。そこでデプス

マップ合成部116は、各1階微分演算部114、115の出力値を参照して、1階微分値の小さい領域ではマッチング演算と三角測量に基づくデプスを選択あるいは優先的に用い、2階微分値の小さい領域では直接法によって求めたデプスを選択あるいは優先的に採用する。中間領域では、両手法によるデプスの平均をとってもよいし、あるいは1階微分値および2階微分値に対するしきい値を予め定めておいていずれかのデプスが選択されるようにしてもよい。このようにして合成されたデプスマップは、デプスマップ出力部117より出力される。

【0050】《第3実施例》次に、本発明の第3実施例の3次元形状測定装置について、説明する。この実施例は、まず入力画像を用いて画像全域でオプティカルフローを検出し、その後、検出されたオプティカルフローの分布から物体の境界領域を検出し、境界領域に関しては直接法でデプスを求めて、既にオプティカルフローに基づく手法で求まっているデプスに直接法で求めたデプスを内挿していくものである。図6は、本実施例の3次元形状計測装置の構成を示すブロック図である。

【0051】画像入力部120の出力は、オプティカルフロー検出部121と画像領域抽出部123に入力し、オプティカルフロー検出部121の出力側には三角測量演算部122が設けられている。オプティカルフロー検出部121の出力は、画像領域抽出部123にも入力している。画像領域抽出部123の出力側には直接法演算部124が設けられており、さらに、三角測量演算部122と直接法演算部124でそれぞれ求められたデプスが入力するデプスマップ合成部125が設けられている。デプスマップ合成部125で求められたデプスマップはデプスマップ出力部126から出力されるようになっている。

画像入力部120、オプティカルフロー検出部121、三角測量演算部122、直接法演算部124およびデプスマップ出力部126は、それぞれ、第1実施例(図1)の画像入力部101、オプティカルフロー検出部102、三角測量演算部103、直接法演算部105およびデプスマップ出力部107と同様のものである。

【0052】画像領域抽出部123は、オプティカルフロー検出部121の出力結果を用いて、被計測体のエッジ部すなわちデプスが急激に変化する領域を抽出する。具体的には、オプティカルフローを(u, v)として

【0053】

【数11】

$$I - \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \quad \dots (12)$$

のような評価関数Iを定め、この値が一定値を越える領域を抽出する。これに対しデプスマップ合成部125は、オプティカルフローと三角測量に基づく手法で求めたデプスマップに対し、直接法で求めたデプスを内挿するかあるいは加重平均を行なうことにより、デプス

マップの合成を実行する。なお、評価関数Iに対するしきい値を複数設け、評価関数Iの値に応じて直接法の比重を段階的に変化させるようにしてもよい。合成されたデプスマップはデプスマップ出力部126より出力される。

【0054】《第4実施例》次に、本発明の第4実施例の3次元形状計測装置について説明する。この3次元形状測定装置は、画像入力部の移動量を検出する移動量検出部を備えている。図7は本実施例の3次元形状計測装置の構成を示すブロック図である。

【0055】被計測体を画像データとして取り込む画像入力部200には、被計測体を撮像するためのレンズ201と、CCDなどの撮像素子202と、撮像素子202からの出力信号を保持するサンプル/ホールド回路203と、サンプル/ホールド回路203から出力される画像信号に対して自動利得制御(オートゲインコントロール)を行なうAGC回路204と、AGC回路204の出力側に設けられたA/D(アナログ-デジタル)変換器205とによって構成されている。撮像素子202としては、CCD以外のものも使用することができる。A/D変換器205の出力は、時系列な画像データとして、後述する画像処理部230に供給されている。また、画像入力部200には、画像入力部200の移動量を検出するための移動量検出部220が、機械的に取り付けられ固定されている。移動量検出部220には、例えば振動ジャイロスコプのような角速度センサ221と、角速度センサ221で検出された角速度値から画像入力部200の移動量を算出する移動量算出回路222とが設けられている。移動量算出回路222の出力は、画像処理部230に供給されている。

【0056】画像処理部230は、画像信号処理によって被計測体までの距離を算出するものであり、画像データを一定時間保持する画像メモリ231と、現在の画像データと画像メモリ231に保持された一定時間前の画像データとの間の演算から画像中の対応点を探索する対応点探索回路232と、対応点探索の結果に応じ被計測体までの距離を演算する距離演算回路233とによって構成されている。距離演算回路233は、三角測量の原理に基づいて距離の演算を行なうものであり、移動量算出回路222から出力される移動量値を基線長として、距離の演算を行なうように構成されている。距離演算回路233で計算された距離データは、出力端子240を介して外部に出力される。

【0057】次に、この3次元形状測定装置の動作を説明する。レンズ201は被撮像体を撮像素子202に結像し、撮像素子202は被計測体の像を光電変換して画像信号として出力し、この出力はサンプル/ホールド回路203に保持される。AGC回路204は自動的に画像信号の利得を制御し、利得制御された画像信号はA/D変換器205によってアナログ信号からデジタル信号

に変換される。したがって、画像処理部230には、デジタル画像が入力する。一方、画像入力部200に対して固定されている移動量検出部220では、角速度センサ221によって、画像入力部200の動き(角速度)が逐一検出されており、移動量算出回路222では、角速度センサ221によって検出された角速度から、画像入力部200の移動量が算出される。

【0058】画像処理部230において、画像データは画像メモリ231内に一定時間記憶され、これによって時系列な画像間での演算が可能となる。対応点探索回路232は、A/D変換器205から直接入力する現在の画像と、画像メモリ231内に記憶されている一定時間前の画像とを対象として、対応点探索を行なう。対応点探索の方法としては、第1実施例で述べたように、時空間勾配法、相関法あるいはブロックマッチング法などがあり、これらのいずれの方法も使用することができる。対応点探索が行なわれると、その結果は距離演算回路233に入力する。距離演算回路233では、移動量算出回路222で算出された画像入力部200の移動量を基線長 L として、「従来の技術」欄で述べた三角測量の原理に基づく方法によって、画素ごとのデプスを求め、画素ごとに3次元形状が決定される。なお、画像中心が一致するように両方の画像を重ね合わせた場合の2つの画像間での対応点の移動量は、対応点探索回路232によって求められている。したがって、被計測体に対してこの3次元形状計測装置を平行に移動させながら複数の画像を入力させることにより、ただちにその被計測体の立体形状を計測することができる。

【0059】図8は、本実施例の3次元形状計測装置を用いて実際に周辺環境の立体情報を取り込んでいるところを示す概略図である。計測者270は、本実施例の3次元形状計測装置250に取り付けられたグリップ260をつかみ、腕を伸ばして肩を中心にしてこの3次元形状計測装置250を被計測体(不図示)に対して平行に走査し、この被計測体を撮影している。グリップ260は、3次元形状計測装置250を安定してホールドするためのものである。

【0060】計測者270が3次元形状計測装置250に取り込ませる画像の枚数は、画像メモリ231の容量で決まる。画像入力部200としていわゆる電子スチルビデオカメラを使用する場合には、画像を取り込むタイミングを計測者270がボタン等で任意に選んでも良いし、角速度センサ221の出力を利用して腕の振りの開始と終了、あるいは計測者270が安定して腕を動かしている期間を検出して、これをトリガとして撮像を実行することもできる。また、事前に基線長 L と取り込む画像の数 N を指定しておき、間隔 L ごとに N 枚、被計測体の画像を入力してもよい。もちろん、画像入力部200として、通常のTVカメラを使用することもできる。通常のTVカメラを使用する場合には、テレビレートで時

系列な画像を多数枚取り込むことも可能であり、対応点を抽出するための画像の粗を自由に選べるので、多数の画像の組み合わせで求まる距離情報を統合してさらに高精度な情報を得ることも可能である。ここでは、計測者(撮影者)270が被計測体に対して3次元形状計測装置250を走査する方向は特に定められたものではなく、例えば水平方向でも垂直方向でも斜め方向でもよく、目的に応じてこの方向を決定すればよい。

【0061】ところで、本実施例では、3次元形状計測装置が計測者の肩を中心に腕の長さを半径とした円弧運動をするので、円弧運動ではなく平行に撮影したように基線長と画像を補正することが望ましい。ここで、図8を用いて補正処理の概要を説明する。

【0062】図8は、計測者によって3次元形状計測装置250を水平方向に走査しながら撮影したときの、その3次元形状計測装置250の運動軌跡を上から見た図である。原点 O は計測者の肩の位置、すなわち3次元形状計測装置250の円弧運動の中心である。 a は撮影者の腕の長さ、 θ (ラジアン単位)は撮影範囲角、 s は移動量検出部220で求められた3次元形状計測装置250の移動量、 L は平行撮影時の基線長である。撮影者の腕の長さ a が事前に与えられていれば、基線長 L は下式で求まる。

【0063】

【数12】

$$L = 2a \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad \dots (13)$$

ここで、

【0064】

【数13】

$$\theta = \frac{s}{a} \quad \dots (14)$$

である。したがって、このようにして求められた基線長 L によって基線長の補正を行なえばよい。一方、画像の補正は、撮影時の角度に応じて発生する台形歪みの幾何学的な補正と、平行撮影の軌跡と円弧運動の軌跡の間に生じる被計測体までの距離の差に応じて発生する倍率の幾何学的な補正からなる。

【0065】《第5実施例》第4実施例では、慣性力を利用した機械センサである角速度センサを使用し、画像入力部の移動量を直接検出した。しかし、本発明において画像入力部の移動量の計測方法は、これに限られるのではなく、何らかの手段で計測者の動きを計測して、これより画像入力部(撮像装置)の移動量を割り出してよい。

【0066】計測者の動きを検出する方法として、①磁気センサを用いる方法、②超音波センサを用いる方法、③光ファイバセンサを用いる方法、④圧力センサを用いる方法などがあり、より直接的に計測者の動きを検出する方法として、⑤計測者の筋電位を測定する方法があ

る。以下、計測者の動きを検出するこれらの方法について説明する。

【0067】磁気センサを用いる方法は、電磁コイルからなるセンサを計測者に付着させておき、さらに空間内に磁界を張っておき、この磁界内を電磁コイルが移動するときに発生する誘導電流から空間内の位置や角度を求めようとする方法である。画像入力部自体に磁気センサを配することも可能である。

【0068】また、超音波センサは、超音波の発信源と検出部のペアからなり超音波の伝播時間で測距するものである。超音波センサを用いる方法では、例えば計測者の頭部と腕の先にこの超音波センサのペアを固定することにより、腕の動きを検出することができる。

【0069】光ファイバセンサは、光ファイバを通過する光量が、その光ファイバの屈曲に応じて減衰することを利用して、光ファイバセンサを用いる方法は、光ファイバを計測者の体に取り付けるか、あるいは光ファイバをめぐらしたボディスーツを計測者の身につけ、計測者の動きに応じて減衰した光量を検出することにより、計測者の動きを計測する。

【0070】圧力センサを用いる方法では、圧力センサとして、例えば、感圧導電インキを使用したものを利用できる。感圧導電インキは、圧力が加わると電気抵抗が変化するインキであり、この方法では、上述の光ファイバセンサの場合と同様に、この圧力センサを計測者の体に密着させて、計測者の動きを計測する。

【0071】計測者の筋電位を測定する方法では、計測者の筋肉に電極を取り付け、撮影（計測）中の腕の動きに応じて発生する筋電位の変化を検出して、これより撮像装置の移動量を求める。

【0072】

【発明の効果】以上説明したように本発明の3次元形状計測方法は、オブティカルフローに基づく手法と直接法を適応的に組み合わせることにより、物体の境界域でも鈍らずに高精度に測距できるという効果がある。また本発明の第1の3次元形状計測装置は、オブティカルフローに基づく手法と直接法を適応的に組み合わせることにより、物体の境界域でも鈍らずに高精度に測距できるという効果がある。さらに本発明の第2の3次元形状計測装置は、画像入力手段の移動量を自動的に検出する移動量検出手段を設けることにより、従来大規模になりがちだった3次元形状計測装置を小型・軽量化でき、3次元情報の取り込みが容易に実現でき、さらに高精度での測定が可能になるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1実施例の3次元形状計測装置の構成を示すブロック図である。

【図2】(a)～(c)はそれぞれエッジ抽出の原理を説明する図である。

【図3】3次元空間での撮像体の各運動パラメータを説明する図である。

【図4】第2実施例の3次元形状計測装置の構成を示すブロック図である。

【図5】画像の処理方法についての領域分けを示す図である。

【図6】第3実施例の3次元形状計測装置の構成を示すブロック図である。

【図7】第4実施例の3次元形状計測装置の構成を示すブロック図である。

【図8】第4実施例における3次元形状測定の実行方法を説明する図である。

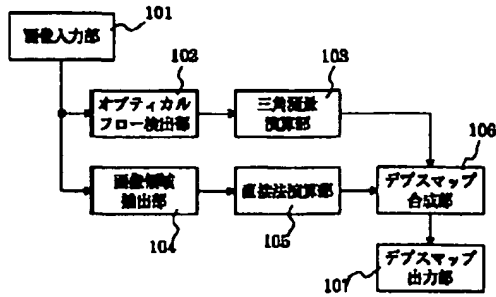
【図9】補正処理を説明する図である。

【図10】三角測量の原理に基づく距離測定を説明する図である。

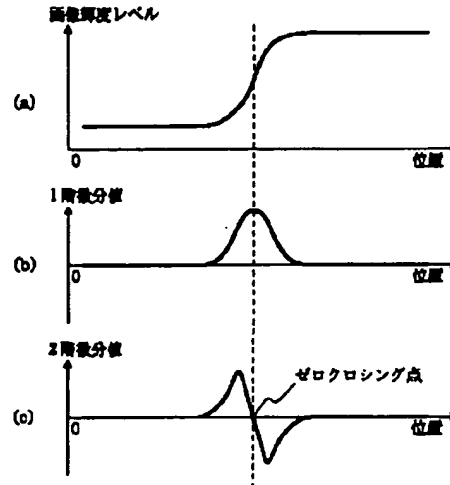
【符号の説明】

101, 110, 120, 200	画像入力部
102, 121	オブティカルフロー検出部
103, 116, 122	三角測量演算部
104, 123	画像領域抽出部
105, 113, 124	直接法演算部
106, 117, 125	デプスマップ合成部
107, 118, 126	デプスマップ出力部
111	バンドパスフィルタ部
112	マッチング法演算部
114, 115	1階微分演算部
201	レンズ
202	CCD
203	サンプル／ホールド回路
204	AGC回路
205	A/D変換器
220	移動量検出部
221	角速度センサ
222	移動量算出回路
230	画像処理部
231	画像メモリ
232	対応点探索回路
233	距離演算回路
240	出力端子

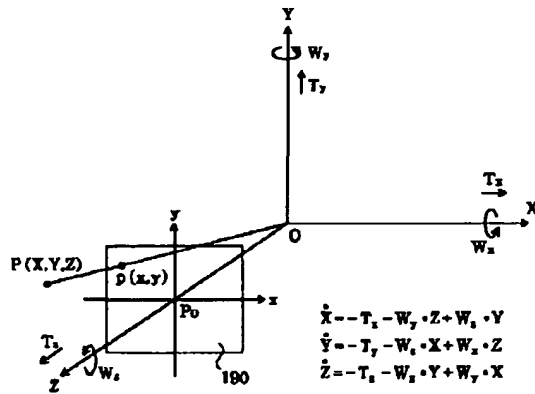
【図1】



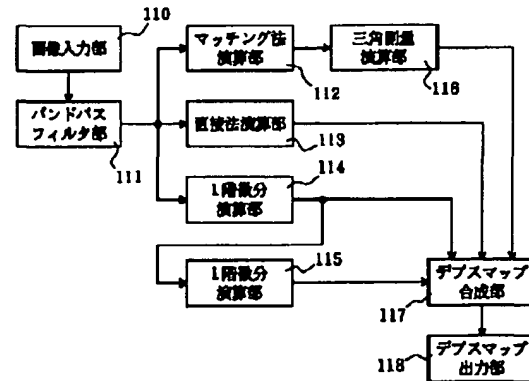
【図2】



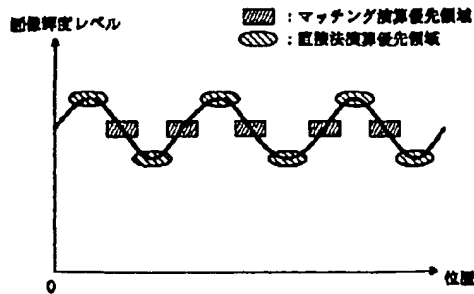
【図3】



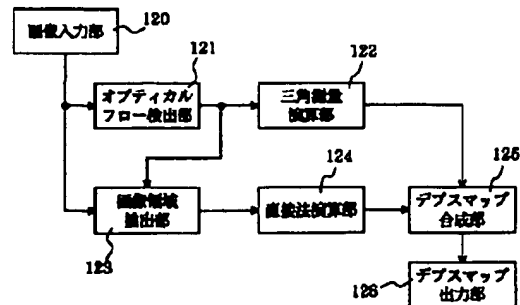
【図4】



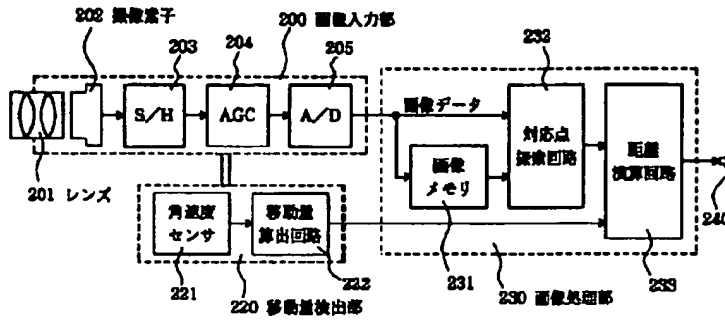
【図5】



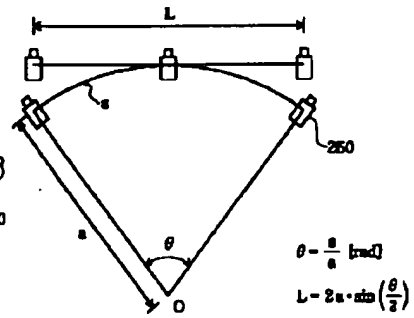
【図6】



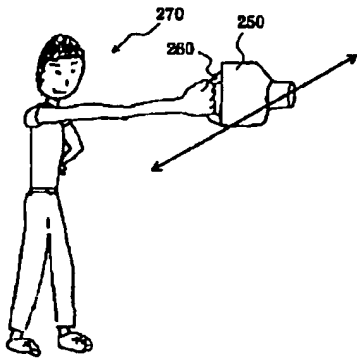
【図7】



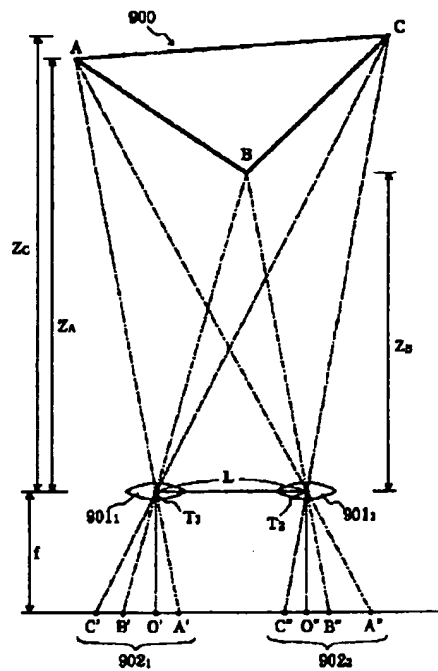
【図9】



【図8】



【図10】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁶

G 0 6 T 7/00

7/60

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所